

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

**Návrh mechanismu pro řešení pohybů při svařování  
tubusů velkých průměrů**

*The Design of the Mechanism for the Solution of Movements  
During Welding of Large Diameter Tubes*

Student:

Radek Čermák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Kubín

Ostrava 2009



## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

## Anotace bakalářské práce

ČERMÁK R. *Návrh mechanismu pro řešení pohybů při svařování tubusů velkých průměrů.* Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2009, 54 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Kubín Tomáš

Bakalářská práce se zabývá návrhem mechanismu pro řešení pohybů při svařování tubusů velkých průměrů. Cílem této práce je návrh části mechanismu pro svařování příčných svarů tubusu dle požadavku pracoviště, na které je zařízení navrhováno. Návrh je založen na několika hlavních silových výpočtech a kontrolních propočtech základních součástí zařízení. Zvolené technické řešení je z velké části řešeno zkušenostmi na samotném pracovišti. Pro tvorbu výkresové dokumentace bylo použito programu Inventor a jeho možností.

## Annotation of the Bachelor Thesis

ČERMÁK R. *The Design of the Mechanism for the Solution of Movements During Welding of Large Diameter Tubes.* Ostrava: Department of Production Machines and Design, VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering 2009, 54 pages, Bachelor thesis, Tutor Ing. Kubín Tomáš

The bachelor thesis deals with the design of the mechanism for the solution of movements during welding of large diameter tubes. The goal of this thesis is to design the part of mechanism for welding of the tube cross welds, according to requirements of the workplace, for which the mechanism is designed. The design is based on several main force enumerations and on control calculations of the basic parts of the equipment. The main part of the selected technical solution results from the experiences in the workplace itself. I used the Inventor program and its possibilities for creation of the drawing documentation.

## Obsah bakalářské práce

<b>1.</b>	<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>Rešerše svařovacích polohovadel</b>	<b>12</b>
<b>3.</b>	<b>Popis a specifikace navrhovaného zařízení</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b>Stanovení funkční struktury</b>	<b>19</b>
4.1.	Technologie	19
4.2.	Technický proces (pouze hlavní tok)	20
4.3.	Blokové schéma funkční struktury	21
4.4.	Hierarchický funkční strom	22
4.5.	Stanovení hrubé stavební struktury	23
4.6.	Stanovení orgánové struktury	24
4.7.	Vyhodnocení jednotlivých možností	25
4.8.	Přenos otáčivého pohybu na hnací kladky	25
4.9.	Proces svařování	26
4.10.	Jištění polohy polohovadel	27
4.11.	Pohyb a parametry	28
<b>5.</b>	<b>Konstrukční návrh</b>	<b>29</b>
5.1.	Základní rám	29
5.2.	Nosník polohovadla	30
5.3.	Kladky pohonu	31
5.4.	Hnací mechanismus kladky	32
<b>6.</b>	<b>Výpočty</b>	<b>33</b>
6.1.	Analýza uložení svařence	33
6.2.	Určení rozsahu rychlosti otáčení svařence	34
6.3.	Hmotnostní rozbor maximálních délek válců	35
6.4.	Rozbor sil působících na kladky pohonu	36
6.5.	Výpočet momentu setrvačnosti	37
6.6.	Výpočet mechanické práce pro uvedení do pohybu	37

<b>6.7.</b>	<b>Výpočet výkonu potřebného na výstupu</b>	<b>38</b>
<b>6.8.</b>	<b>Výpočet kroutícího momentu na výstupu</b>	<b>38</b>
<b>6.9.</b>	<b>Výpočet kroutícího momentu na jednu kladku</b>	<b>38</b>
<b>6.10.</b>	<b>Motor a převody</b>	<b>38</b>
6.10.1.	Převod kladka – pohybový hřídel	39
6.10.2.	Převod pohybový hřídel – motor	40
<b>6.11.</b>	<b>Pera a hřídele</b>	<b>41</b>
6.11.1.	Výpočet hnacích hřídelů	41
6.11.2.	Výpočet pera hřídel – převodovka	42
6.11.3.	Výpočet hřídele kladky	43
6.11.4.	Výpočet pera kladky	45
<b>6.12.</b>	<b>Výpočet pohybového šroubu</b>	<b>46</b>
6.12.1.	Pevnostní kontrola šroubu	47
<b>7.</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
	<b>Citovaná literatura</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>51</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>52</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>53</b>

## Seznam použitého značení

Označení	Jednotka	Význam
a	mm	délka hřídele od osy ložiska A do osy kladky
b	mm	délka hřídele od osy ložiska B do osy kladky
c	mm	délka hnací části hřídele kladky
D	mm	průměr kladky
d	mm	průměr hřídele
D <sub>1</sub>	mm	malý průměr závitu matice
d <sub>3</sub>	mm	minimální průměr hřídele
d <sub>2šr.</sub>	mm	střední průměr závitu lichoběžníkového šroubu
d <sub>3šr.</sub>	mm	malý průměr závitu šroubu lichoběžníkového šroubu
d <sub>h1</sub>	mm	průměr hřídele kladky v hnací části
d <sub>h2</sub>	mm	průměr hřídele kladky v místech ložisek
d <sub>h3</sub>	mm	průměr hřídele pod kladkou
d <sub>hkl.</sub>	mm	průměr hřídele kladky
F	N	síla přenášená z kladky na hřídel kladky
F <sub>1</sub>	N	zatěžující síla
F <sub>1,2</sub>	N	normálová síla
F <sub>1,3</sub>	N	síla působící v ose šroubu
F <sub>A</sub>	N	zatěžující síla v ložisku A
F <sub>B</sub>	N	zatěžující síla v ložisku B
F <sub>o</sub>	N	maximální síla působící v ose šroubu
g	m/s <sup>2</sup>	tíhové zrychlení
i	(-)	celkový převodový poměr
i <sub>2</sub>	(-)	převodový poměr motor-pohybový hřídel
J	kg*m <sup>2</sup>	moment setrvačnosti
k	(-)	bezpečnostní koeficient
k <sub>s</sub>	-	bezpečnostní koeficient šroubu
l <sub>1</sub>	mm	délka pohybového hřídele
l <sub>2</sub>	mm	délka pera pohybového hřídele
l <sub>3</sub>	mm	délka hřídele kladky
l <sub>hkl.</sub>	mm	délka hřídele kladky
l <sub>pera</sub>	mm	délka pera
m	kg	hmotnost svařence
M <sub>k</sub>	Nmm	krouťící moment na výstupu
M <sub>kkl.</sub>	Nmm	krouťící moment na jedné kladce
M <sub>o</sub>	Nmm	ohybový moment
M <sub>o max.</sub>	Nmm	maximální ohybový moment
M <sub>ored</sub>	Nmm	redukovaný moment
M <sub>ored</sub>	Nmm	redukovaný ohybový moment
n <sub>1</sub>	ot/min	otáčky kladky

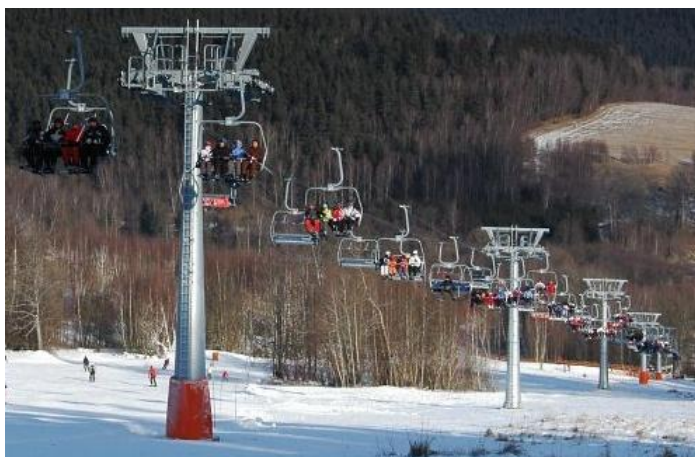


$n_2$	ot/min	otáčky pohybového hřídele
$n_3$	ot/min	otáčky motoru
$o$	mm	obvod kladky
$p$	MPa	skutečný tlak na pero
$P$	mm	stoupání závitu
$P_1$	W	vstupní výkon motoru
$PA$	(-)	poloha svařování vodorovná shora
$PB$	(-)	poloha svařování vodorovná šikmo shora
$PC$	(-)	poloha svařování vodorovná
$PD$	(-)	poloha vodorovná šikmo nad hlavou
$p_D$	MPa	dovolený tlak
$PE$	(-)	poloha vodorovná nad hlavou
$P_{hř.}$	W	Výkon na pohybovém hřídeli
$P_M$	W	výkon motoru
$P_{výst.}$	W	výkon potřebný na výstupu
$S_2$	mm <sup>2</sup>	otlačovaná plocha pera
$t$	mm	hloubka drážky pro pero v hřídeli
$t_1$	mm	hloubka drážky pro pero v náboji
$t_{1hkl.}$	mm	hloubka drážky pera v kladce
$W$	J	mechanická práce
$W_0$	mm <sup>3</sup>	modul průřezu v ohybu
$\alpha$	°	úhel rozevření kladek od osy svařence
$\alpha_B$	-	Bachův opravný součinitel
$\beta$	-	součinitel zohledňující neznámý krut
$\beta_F$	°	úhel mezi rovinou pojezdu a silou $f_1$
$\beta_{šr.}$	°	úhel profilu závitu
$\gamma$	°	úhel stoupání
$\delta_{Do}$	MPa	dovolené napětí v ohybu
$\delta_o$	MPa	vypočtené napětí v ohybu
$\eta$	%	účinnost převodovky
$\tau$	MPa	napětí v krutu
$\tau_{Dk}$	MPa	dovolené napětí v krutu
$\tau_{Ds}$	MPa	dovolené napětí ve smyku
$\tau_s$	MPa	napětí ve smyku
$\phi$	°	třecí úhel
$\phi_D$	°	dovolený úhel zkroucení
$\omega$	s <sup>-1</sup>	úhlová rychlost
$\omega_h$	s <sup>-1</sup>	úhlová rychlost pohybového hřídele

## 1. Úvod

Firma Ferrmon, spol. s r.o. se sídlem v Ostravě-Kunčicích na Lešetínské ulici působí na trhu výroby ocelových konstrukcí již 14 let nejen na českém trhu, ale i v zahraničí. Její výrobní program je zaměřen na výrobu ocelových konstrukcí provozních hal, obchodních domů, jeřábových a mostních konstrukcí. V posledních cca 6 letech se však zaměřuje více na konstrukce technologičtějšího typu pro dopravu a přepravu osob.

Příkladem je již několik desítek postavených lyžařských vleků a lanovek (viz Obr.1.1[1]) jak v České republice, tak i v zahraničí ve spolupráci s rakouskou firmou Doppelmayr spol. s r.o.



Obr. 1.1 Ukázka vyrobených konusových sloupů lanovky v provozu

Dále úzce spolupracuje s firmami Merco cz, a.s. a Schwing Stetter spol. s r.o. na výrobě kompletních celků mobilních i stacionárních betonárek (viz Obr.1.2 [2]). Tento výrobní program je stálý, a vyžaduje tak pozornost našeho vedení na jeho zlepšování, zvyšování kvality a produktivity už z důvodu stálého zvyšování poptávky těchto zařízení.



Obr. 1.2 Ukázka mobilní betonárny vyrobené pro firmu STETTER

Po dohodě s vedením firmy, konzultací s vedoucím provozu a ostatními pracovníky provozu jsem navrhl řešit ve své bakalářské práci problematickou otázku svařování cementových sil hlavně z důvodu zkvalitnění svarových spojů jak po stránce samotné kvality svarů, tak po stránce vizuální.

Řešení problému by mělo snížit celkový čas při svařování, zvýšit produktivitu, odstranit problémy týkající se napojování svarů, jejich zabrušování a případné tmelení před lakováním.

Poněvadž hlavním problémem je mechanický posuv svařence velkého průměru regulovatelnou rychlostí bez přerušování svarové housenky, je problematika této bakalářské práce nazvána „Návrh mechanismu pro řešení pohybů při svařování tubusů velkých průměrů“.

Zařízení by však nemělo být konstruováno pouze na tento výrobní sortiment, ale mělo by usnadnit a zkvalitnit výrobu jakýchkoli válcových nebo kuželových výrobků, které nepřesáhnou rozměry a tonáž svařenců, jež lze v našich podmínkách vyrábět.

## 2. Rešerše svařovacích polohovadel

Polohovadla pro svařování jsou zařízení určená k nastavení různých poloh svařenců při jejich svařování tak, aby bylo docíleno co nejlepšího výsledku svaru s co nejmenšími tepelnými deformacemi svařovaného materiálu v ideální pozici.

V nynější době existuje spousta typů polohovadel a to nejen pro svařování. Jejich využití není pouze ve výrobě kusové, ale mají důležitou funkci hlavně v mechanizaci a robotizaci celých pracovišť. Jsou to polohovadla pracující v jedné, dvou nebo i třech osách náklonů.

Příkladem je stolové polohovadlo na Obr. 2.1 [3], které pracuje ve třech osách s pevně upnutým svařencem k otočnému stolu. Tím umožňuje dostat svařovaný kus do neoptimálnější polohy pro svařování pomocí manuálního nastavení, nebo programovým řízením automatizované nebo robotizované výroby.



Obr. 2.1 Tříosé polohovadlo WESTAX 2500 HHT – Low

Dalšími polohovadly jsou dvouosá, která pracují na stejném principu, ale pouze ve dvou osách. Příkladem je polohovadlo na Obr. 2.2 [3].



Obr. 2.2 Dvouosé polohovadlo WESTAX RP 20

Na Obr. 2.3 [3] je ukázka využití dvouosého polohovadla při práci na menších trubkových svařencích. Tento typ polohovadla by však nevyhověl našemu požadavku.



**Obr. 2.3 Ukázka práce na dvouosém polohovadle**

Třetím typem jsou polohovadla odvalovací, které jsou přímo určeny pro otáčení válcových výrobků nebo svařenců. Na Obr. 2.4 [3] jsou ukázky dvou takových typů, odlišujících se od sebe svou konstrukcí. Oba typy se vyrábí v provedení nosnosti od 3 t až po nosnost 80 t.



**Obr. 2.4 Odvalovací polohovadla WESTAX RN ( vlevo ) a RS ( vpravo )**

Zařízení pro svařování velkých průměrů tubusů, které mám navrhnout, má v konečné podobě řešit dvě základní funkce. První z nich je funkce otáčení tubusu kolem vlastní osy regulovanými otáčkami tak, aby bylo možné svařovat obvodové svary konstantní rychlostí a bylo tím docíleno vysoké kvality svaru. Druhou funkcí je řízený podélný posuv při svařování ve směru osy tubusu.

Tato zařízení nachází uplatnění všude tam, kde se provádí svařování trubek a velkopřůměrových tubusů, ale nejen válcovitého tvaru, ale i kuželů.

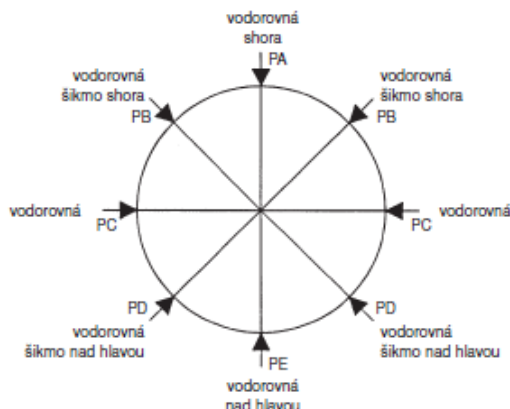
### 3. Popis a specifikace navrhovaného zařízení

Při výrobě cementových sil ve firmě Ferrmon spol.s r.o. svařují tubusy těchto sil ručním způsobem v méně vhodných polohách s častými nápoji čímž vznikají svary méně vzhledné, nižší kvality a musí být nápoje přebrušované, což se velmi projevuje po nalakování sil na jeho vizuální podobě.

Svařovací polohovadla na kterých jsou svařence umístěny jsou zastaralá bez možnosti plynulé regulace otáček, čímž mohou být používána pouze na pootočení sil s přerušením svařování. Tímto vznikají prodlevy ve výrobě.

Tím, že je nutno při svařování na takto vybaveném pracovišti svařovat v polohách PB, PC a PD (viz Tab. 3.1[4]), je i nižší produktivita této práce takřka o 20 až 30% [4] oproti svařování v poloze PA. Kdybych k tomu připočetl ještě prostoje vznikající při přetáčení, odkládání a znovunasazování svařovací pistole a kukly svářeče, stoupl by toto procento ještě výše.

symbol	druh svaru	Označení dle		název
		AWS	ČSN EN ISO 6947	
	tupý koutový	1G 1F	PA PA	vodorovná shora vodorovná shora
	tupý	2G	PC	vodorovná
	tupý koutový	4G -	PE PD	vodorovná nad hlavou vodorovná šikmo nad hlavou
	tupý koutový	3G -	PF	svislá nahoru
	tupý koutový	3G -	PG	svislá dolů
	koutový	2F	PB	vodorovná šikmo shora



Tab. 3.1 Značení poloh při svařování

Úkolem je tedy navrhnout zařízení pro řešení rovnoměrného řízeného pohybu při svařování podélných a příčných svarů tubusů sil.

Kvalita svarů by tak dosahovala vysoké úrovně jak po pevnostní stránce, tak po stránce vizuální, s co nejmenším dalším mechanickým zásahem včetně zkrácení času výroby.

Tím by došlo k zvýšení produktivity při výrobě těchto sil a podobných výrobků.



Základem návrhu zařízení bylo prozkoumání nynějšího pracoviště výroby cementových sil (viz. Obr. 3.1)



Obr. 3.1 Ukázka nynějšího pracoviště

Pracoviště je na ploše 16 x 10 m, které je rozděleno na dvě poloviny- na část sestavování sil a část svařování, dostrojování a konečné úpravy (viz. Obr. 3.2).



Obr. 3.2 Rozdělení pracoviště na část sestavování ( vlevo ) , a část svařování ( vpravo )

Na počátku zpracovávání celého návrhu jsem provedl konzultaci záměru s hlavním organizátorem a parťákem skupiny vyrábějící tyto sila panem Vančurou, společně se svařovacím technologem panem Janišem a vedoucím provozu panem Trnkou. Cílem této konzultace bylo stanovení hlavních podmínek k zadanému řešení pracoviště.

Jako základní body jsme si určili následující:

- **Umístění**

Původní záměr byl využití zadního čela haly a jejích sloupů pro zavěšení pojezdu, který by držel vlastní zařízení. Tento záměr by byl však nereálný z důvodu manipulace s hotovým výrobkem. Hotové silo by se muselo převážet přes další rozpracovaný kus ve velké výšce, což již nedovoluje zdvihový profil jeřábu a manipulace i tak by byla velmi složitá, což je vidět již na Obr. 4.2.

- **Délka zařízení**

Je dána rozměry těchto sil, jež se soustavně mění dle příslušných zakázek. Jejich délka se pohybuje od 6 m do 13,5 m. Z toho důvodu musí být zařízení schopno tyto délky akceptovat.

- **Řešení pohonu**

Nynější polohovadla na kterých se svařování provádí mají hnanou kladku jen jednu ze všech čtyř, což dělá problém při točení větších průměrů vyrobených z tenkých plechů. Při otáčení se svařenec otáčí trhaně z důvodu prokluzu válce a při sebemenší překážce (např. příčný svár tubusu) se silo i zastaví nebo prudce šubne. Při větších prokluzech se poté na plochách objevují rýhy, které se po nátěru ještě více zviditelní.

Navíc tyto polohovadla jsou hnaná přes řetězový převod, který sám vyvolává trhavé pohyby.

- **Možnosti svařování**

Výrobky mají několik různorodých druhů svarů:

- Tupý svar dvou plechů na podložce
- V svar dvou plechů na podložce
- Koutový svar jednostranný
- Koutový svar oboustranný

Pro zvládnutí všech možných variant je třeba navrhnout zařízení pro upnutí jednoho a případně dvou strojních svařovacích hořáků s možností ruční nebo poloautomatické regulace jak vedení směru, výšky, tak náklonu hořáků. To však není požadavkem této práce.

- **Možnost řízení rychlosti**

Rychlost a její kontrola by měla být řízena pomocí snímače propojeného s frekvenčním měničem řízeným potenciometrem. Spojením s přednastavením a digitálním zobrazením nastavené rychlosti by byla zaručena optimální rychlost při procesu svařování.



- **Odstranění deformace a prokluzu**

Navrhnutá hnací kola polohovadla by měla být částečně pogumována, aby nedocházelo k poškozování povrchu materiálu odíráním. Zvýší se tím tření mezi svařencem, hnacími koly, a utlumí případné trhnutí při přejezdu kladky přes příčný svár.

Aby nedocházelo k takzvanému podélnému sjetí svařence z kladek, je třeba zajistit rovnoběžnost polohovadel a jejich souosost.

- **Bezpečnost**

- Elektrické zabezpečení odpovídající normám
- Zabezpečení pracoviště při svařování
- Zabezpečení otáčejících se částí proti zachycení zakrytovaním
- Případné zaplechování rámu pro bezpečný pohyb při svařování menších průměrů

- **Parametrické vlastnosti**

- Průměr tubusů se pohybuje v rozmezí od 1000 mm do 3800 mm, vyšší průměr není možný z důvodu profilu jeřábu a možnosti převozu.
- Délka tubusů je v rozsahu od 3500 mm do 12800 mm
- Síla stěn je dána tloušťkou plechu – převážně jsou sila vyráběna z plechu tloušťky 4 a 5 mm, výjimečně se vyskytuje tloušťka 6 až 8 mm. Svařování však navrhuji až do tloušťky stěny 30 mm pro větší rozsah využití zařízení.
- Váha kompletního tubusu nepřesahuje 8500 kg, což je dáno i technickými parametry jeřábu nad pracovištěm
- Materiál ocel 11.375 až 11.523

- **Funkční vlastnosti**

- Svařování bez ručního držení hořáku
- Směrová a výšková regulace hořáku ruční – pomocí regulovatelného nádstavce ve dvou osách
- Rychlost svařování regulována pomocí ovladače v ruce svářeče a snímače otáček
- Start svařování - pomocí jednoho tlačítka společně zapínat jak polohovadlo, tak i se zpožděním svařovací ústrojí.
- Rychlostní charakteristika vytvářena otáčkami motoru řízenými přes frekvenční měnič.
- Uložení svařence nejméně ve dvou bodech na hnacích kladkách se vzájemně stejnou rychlostí otáčení.
- Podélný posuv řešen pojezdem ramene (neřešeno v této práci).
- Poloha svařovaných míst po celé délce tubusu včetně krajních míst.
- Poloha svařování převážně shora – PA (dle Tab. 3.1).
- Typy svarů převážně V a  $\pi$  – podložené, možnost svařování i koutových svarů.

- **Provozní vlastnosti**

- Životnost minimálně 15 let
- Údržba minimální
- Provoz dvousměnný
- Prostředí dílenské
- Místo velikosti 6 x 14 m – dáno rozměrem nynějšího pracoviště
- Ovladatelnost jednoduchá
- Zařízení nepřenosné

- **Ergonomické a ekologické vlastnosti**

- Stabilita a pevnost rámu
- Provozní bezpečnost
- Bezpečnost při práci ve výškách nad 1,5 m
- Jednoduché a bezpečné nastavování a přestavování
- Hygiena - možnost použití odsávání škodlivých zplodin, odstínění okolních pracovišť od škodlivých účinků při svařování pomocí zástěn
- Použití ekologicky odbouratelných maziv

- **Ekonomické předpoklady**

- Využití skladového profilového materiálu
- Minimální náklady na veškeré zařízení
- Návratnost investice cca 5 let
- Minimální náklady na provoz
- Obsluha - maximálně dva pracovníci

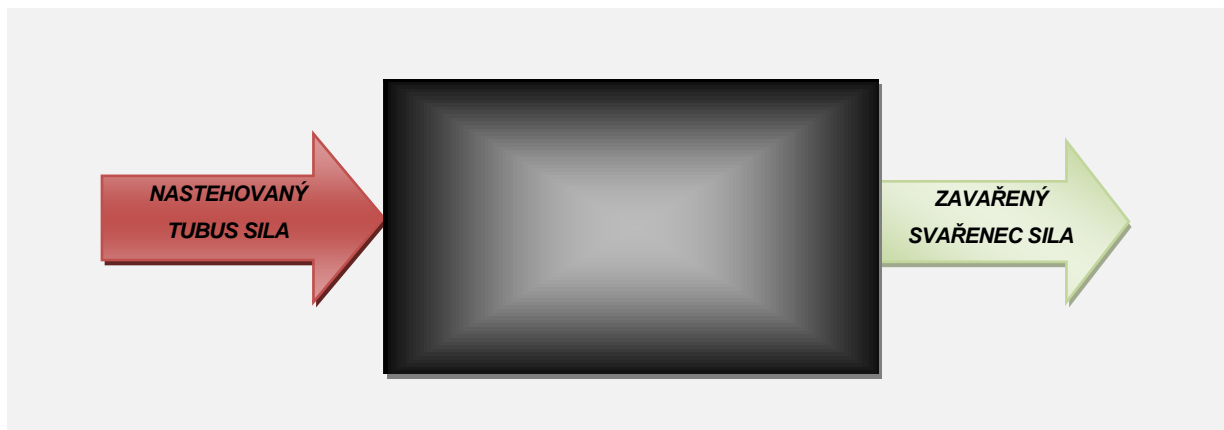
- **Předpisy a normy**

- ČSN 05 0630 Bezpečnostní předpisy pro svařování elektrickým obloukem
- ČSN 73 2601 Provádění ocelových konstrukcí
- ČSN 73 2611 Úchyly rozměrů a tvarů ocelových konstrukcí
- ČSN 34 3880 Revize elektrického zařízení v provozu

- **Realizovatelnost**

- Maximální možnost vlastní výroby z vlastních zdrojů pomocí vlastního zařízení
- Rychlá možnost realizace z důvodu uspokojení potřeb zákazníků

## 4. Stanovení funkční struktury



Obr. 4.1 Transformační proces – černá skříňka

### 4.1. Technologie

Dílec tubusu sila je vykružen z předem nadělených plechů a sestehován. Podélný svár takto připraveného prstence je podvařen v kořenové části a vložen zpět do zkružovačky na kalibrování do kruhového tvaru.

Tyto jednotlivé prstence jsou poté v přípravku (v kolébce) sestavovány do celkové délky sila, stehovány a následně je zevnitř tubusu vložena výztuž – která slouží zároveň jako podložka pro V nebo II svar. Výztuž je obvařena z obou stran koutovým svarem. Nakonec se na začátek svařence vloží kuželová část, která se také zevnitř podvaří.

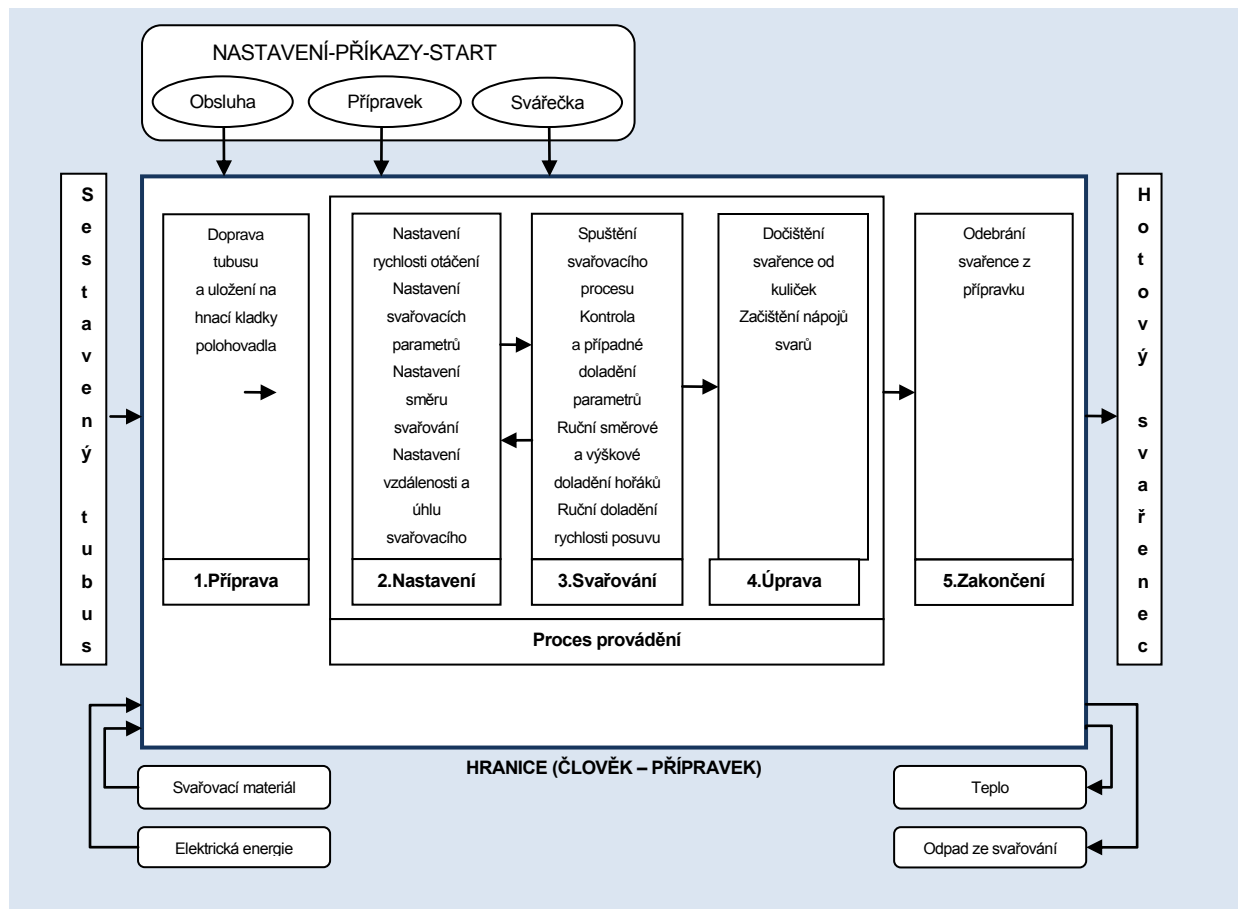
Takto sestavený tubus se pomocí jeřábu přenese do navrhovaného přípravku. Jeho zavaření je předmětem řešení této problematiky. Postupně se zavaří první podélné svary a nakonec svary příčné (prozatímně se podélné svary svařují na samostatných částech na ne zcela vhodném přípravku pomocí svařovacího vozíku firmy Fronius spol.s r.o.).

Všechny svary jsou typu V nebo II podložené. Před vlastním svařováním je nutno z důvodu kvality vybrousit nepatřičné převýšení případných stehových svarů.

Nakonec se ještě na přípravku nastaví a zavaří střecha sila, případné lemování, závěsná oka, přípoje pro nosnou a opěrnou konstrukci a části pro montáž technologie.

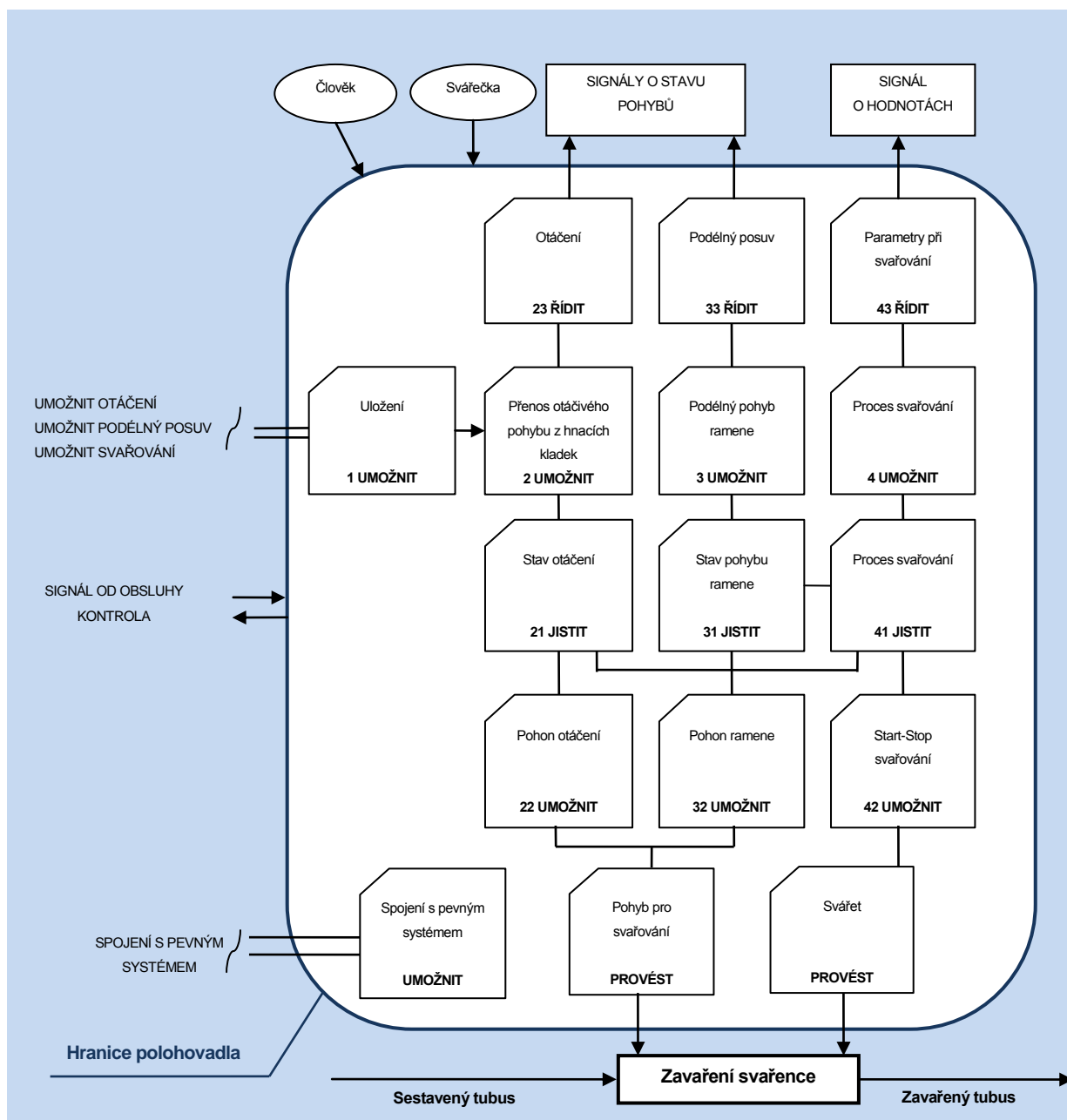
V některých případech jsou sila vybavena žebříky, které se montují až jako poslední z důvodu znemožnění otočení sila na polohovadlech.

## 4.2. Technický proces (pouze hlavní tok)



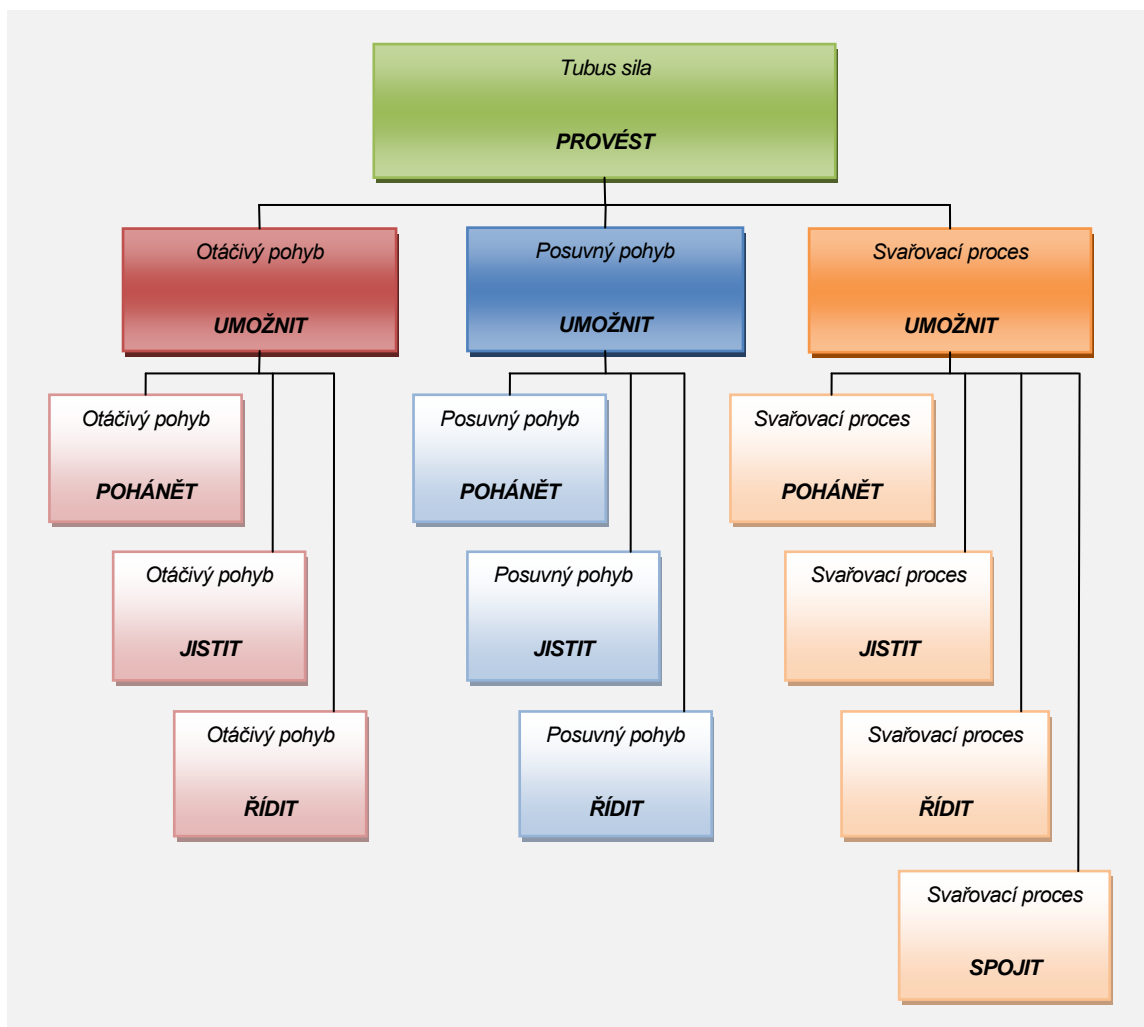
Obr. 4.2 – Schéma hlavního toku technického procesu [12]

### 4.3. Blokové schéma funkční struktury



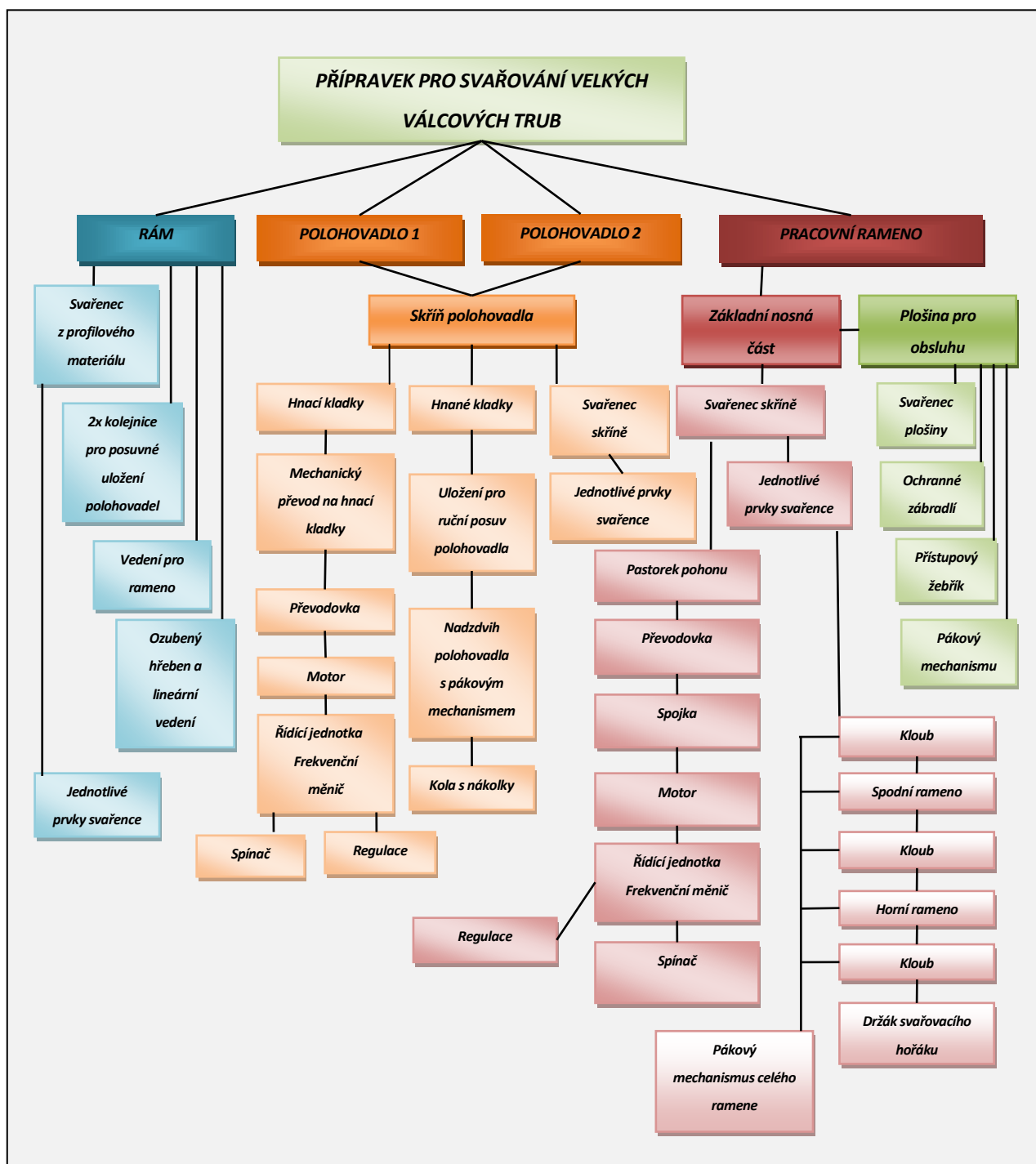
Obr. 4.3 Blokové schéma funkční struktury [12]

#### 4.4. Hierarchický funkční strom



Obr. 4.4 Hierarchický funkční strom

## 4.5. Stanovení hrubé stavební struktury



Obr. 4.5 Stanovení hrubé stavební struktury [12]

## 4.6. Stanovení orgánové struktury

### Morfologická matice

Dílčí funkce		Funkční principy / orgány – nositelé funkcí				
1	Uložení UMOŽNIT	Ručně	Kladkostroj	Jeřáb	Jiná mechanizace	
2	Přenos otáčivého pohybu na hnací kladky UMOŽNIT	Pomocí řetězového převodu	Pomocí řemenového převodu	Pomocí čelních ozubených kol	Pomocí kuželových kol	Pomocí kardanového hřídele
3	Podélný pohyb ramene UMOŽNIT	Posuv pomocí lanka	Posuv pomocí hřebene a pastorku	Posuv pomocí šneku a šnekovnice	Posuv pomocí matice a šroubu – hnaná matice	Pomocí matice a šroubu – hnaný šroub
4	Proces svařování UMOŽNIT	Jen podélný posuv	Jen příčný posuv	Kombinace obou posuvů		
21 31 41	Polohu  JISTIT	Brzdou	Ručně	Pákový mechanismus	Začepováním nebo šroubem	Využitím tření vlastní vahou
22 32 42	Ruční pohon UMOŽNIT	Klikou přes motor	Přímý klikou	Odpojením pohonů a ručním přesunem	Přes pomocnou převodovku	Bez ručního pohonu
23 33 43	Pohyb a jeho parametry ŘÍDIT	Mechanicky- pomocí ukazatele	Elektronicky	Vizuálně - odhadem		

Tab. 4.1 Morfologická matice



#### 4.7. Vyhodnocení jednotlivých možností

Jednotlivé nositele funkcí zhodnotím body dle kritérií a vyberu nejvhodnější řešení pro daný technický systém.

Měřítka hodnocení:

- Vyhovuje velmi dobře 4 body
- Vyhovuje dobře 3 body
- Vyhovuje uspokojivě 2 body
- Nevyhovuje 1 bod

#### 4.8. Přenos otáčivého pohybu na hnací kladky

Funkce	Funkční princip	Konstrukční řešení	Výrobní náklady	Údržba	Přenos pohybu	Počet dílců	
<b>Přenos otáčivého pohybu na hnací kladky</b>	Řetězový převod	Jednoduché 4	Nízké 4	Minimální 3	Trhavý 1	Nízký 4	<b>16</b>
	Řemenový převod	Jednoduché 4	Nízké 4	Zvýšená 2	Prokluzující 1	Nízký 4	<b>15</b>
	Čelní ozubená kola	Složitě 1	Vysoké 2	Zvýšená 2	Pravidelný 4	Vyšší 2	<b>11</b>
	Kuželová kola	Složitě 1	Vysoké 1	Vysoká 1	Pravidelný 4	Vyšší 2	<b>9</b>
	Šnekový převod	Složitější 3	Vyšší 2	Minimální 4	Pravidelný 4	Vyšší 2	<b>15</b>

Tab. 4.2 Vyhodnocení přenosu otáčivého pohybu

Přenos otáčivého pohybu na hnací kladky je nejideálnější řetězový. Má však tu nevýhodu, že v tahu pokud není řetěz dobře napnut má trhavé pohyby, což nepříznivě ovlivňuje kvalitu svaru. Poněvadž však uvažuji o tom, že všechny kladky na polohovadle budou hnané, navrhuji šnekový převod a přenášení kroutícího momentu přes pohybové hřídele a klouby.

Řetězový převod je nejjednodušší a nejlevnější, ale přikláním se k řešení pomocí šnekových převodovek.

## 4.9. Proces svařování

Funkce	Funkční princip	Řešení	Náklady	Složitost	Body celkem
<b>Umožnění posuvu při svařování ( a bez svařování )</b>	Jen podélný	Dobré 4	Běžné 3	Nízká 4	<b>11</b>
	Jen příčný	Dobré 4	Běžné 3	Nízká 4	<b>11</b>
	Kombinace obou	Nepotřebné 1	Běžné 3	Vyšší 2	<b>6</b>

**Tab. 4.3 Vyhodnocení procesu spouštění posuvů při svařování**

Tato část nemusela být vyhodnocována, ale chtěl bych podotknout na samostatné vyhodnocování procesu buď podélným a nebo příčným posuvem. Důležitým faktorem je to, aby bylo možno tento proces používat i bez svařování a vyšší rychlostí – aby bylo možno si svařenec jakkoli pootáčet do různých poloh a vykonávat na něm i práce související s dostrojováním a konečnou úpravou. Vyšší otáčky jsou důležité pro zkrácení pracovního procesu a tím i snižování nákladů při výrobě. K řízení rychlosti navrhuji přepínač a možnost regulace potenciometrem. Taktéž je třeba mít možnost přepínání směru otáčení.

Z toho vyplývá, že na ovladači musí být tlačítko START – STOP, přepínač směru otáček, přepínač pro podélný nebo příčný posuv, regulátor otáček a nouzové tlačítko STOP.

#### 4.10. Jištění polohy polohovadel

Funkce	Funkční princip	Konstrukční řešení	Výrobní náklady	Údržba	Bezpečnost	
<b>Jištění polohy polohovadel</b>	Třením pomocí brzdy	Složitě 2	Vyšší 2	Větší 2	Vyšší 3	<b>9</b>
	Rohatka se západkou	Jednoduché 3	Malé 3	Minimální 3	Vysoká 4	<b>13</b>
	Ručně klínem	Jednoduché 3	Žádné 4	Žádná 4	Nízká 1	<b>12</b>
	Pákový mechanismus	Jednoduché 3	Malé 3	Minimální 3	Vysoká 4	<b>13</b>
	Začepováním	Jednoduché 3	Malé 3	Žádná 4	Střední 2	<b>12</b>
	Šroubem	Jednoduché 3	Malé 3	Minimální 3	Střední 2	<b>11</b>
	Vlastním třením uložením na nosný rám	Velmi dobré 4	Žádné 4	Žádná 4	Vysoká 4	<b>16</b>

Tab. 4.4 Vyhodnocení procesu jištění polohy polohovadel

Polohovadla pod svařencem je nutné zajistit kvůli bezpečnosti – což je nejdůležitějším faktorem tohoto problému. Je nutno, aby polohovadla byla vůči sobě rovnoběžně uložena a zajištěna proti rozjetí, jinak by docházelo ke kuželovému odvalování a posouvání svařence. Tím by vzniklo nebezpečí sjetí svařence z polohovadel a ohrožení bezpečnosti práce.

Bezpečnost by byla snížena i tím, že by obsluha musela pod zavěšený svařenec vlézt a upravovat rozteč zajištění. Proto je nutné tuto rozteč zajistit ještě před vkládáním tubusu rozměření a zajištěním.

Nejvhodnější možností je plošné uložení na rámu s dostatečnou stykovou třecí plochou.

### 4.11. Pohyb a parametry

Funkce	Funkční princip	Konstrukční řešení	Výrobní náklady	Přesnost	Údržba	
<b>Pohyb a jeho parametry</b>	Mechanicky – pomocí ukazatele	Náročnější 2	Vyšší 2	Nízká 2	Střední 2	<b>8</b>
	Elektronicky	Jednoduché 3	Nízké 3	Vysoká 4	Nízká 3	<b>13</b>
	Vizuálně - odhadem	Žádné 4	Žádné 4	Žádná 1	Žádná 4	<b>13</b>

**Tab. 4.5 Vyhodnocení procesu řízení rychlosti pohybu**

Dolaďování parametrů odhadem je velmi nepřesné, vyžaduje to velkou schopnost, zkušenost obsluhy a je zastaralé. I přesto je nejméně nákladné a náročné.

V dnešní době je možno volit ve velkém množství snímačů a regulátorů v elektronické podobě, od drahých a velmi přesných až po jednodušší, levnější, ale dostačující pro naši potřebu. Proto mezi volbou mechaniky a elektroniky dám přednost jednoduššímu převodu signálu, nenáročnému na údržbu a možnosti zabudování do přenosného ovladače elektronického. V dnešní době je možnost také signál měření a ovládání vést bezdrátově – což je velká výhoda při větších vzdálenostech přenosu.

Při řešení se nebudu zabírat elektronickou částí.

## 5. Konstrukční návrh

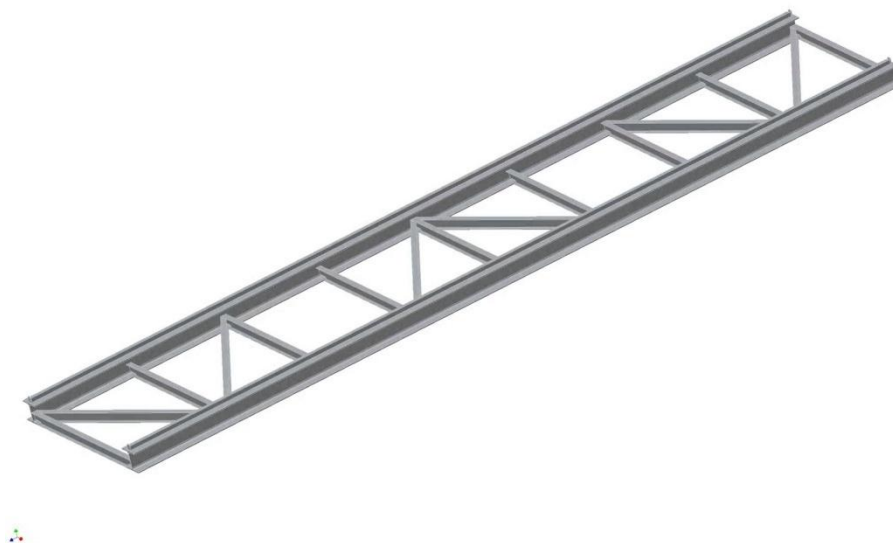
### 5.1. Základní rám

Základ celého zařízení bude rámové svařované konstrukce na dílně položena na betonovou podlahu o tloušťce 250 mm se štěrkovým dusaným ložem. Tato byla navrhovaná a konstruovaná pro zátěž  $750 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ . Podlaha je litá, povrchově zpevněná proti nárazům a strojově znivelovaná a leštěná. Proto plně vyhovuje pro posazení rámu.

Rám samotný uvažuji kotvit dodatečně pouze ve čtyřech bodech pomocí kotevní techniky HILTI a to kotvami M 20 x 250 mm, pouze z důvodu zajištění bočního posunu.

Díry pro kotvení budou dodatečně dle potřeby do rámu odvrtnuty.

Rám bude zhotoven ze dvou hlavních nosníků HEA 320 o délce 13 m a šířce 2,8 m spojených příčníky z profilu IPE 160 a zavětrovaný také tímto profilem. Vznikne tak tuhá konstrukce rámu celého zařízení, nesoucí poté všechny mechanické prvky a samotný svařenec. Spodek rámu bude bez výstupků zcela ležet na podlaze. Případná nerovnost bude řešena vypodložením a případným podlitím betonem.



Obr. 5.1 Návrh hlavního nosného rámu

Na hlavních nosnících budou přivařeny vodící kolejnice určené jak pro posun polohovadel pomocí kol s nákolky, tak pro dostatečně přesné vedení pro rovnoběžnost polohovadel.

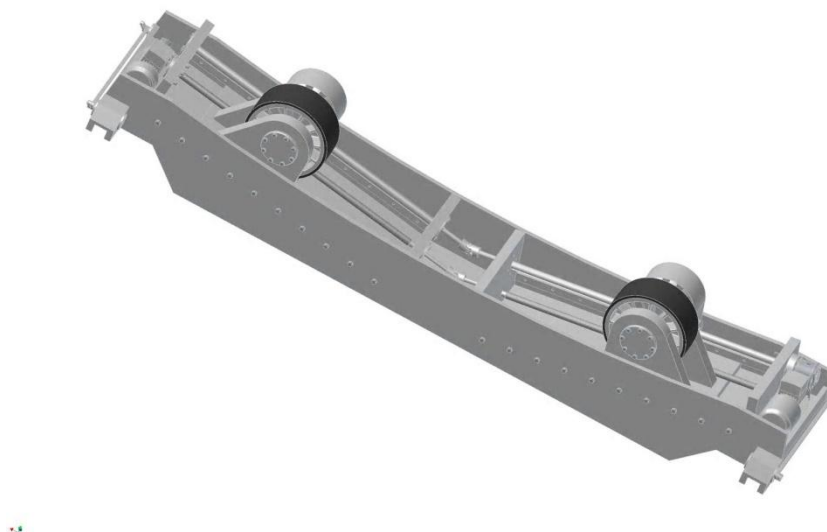
## 5.2. Nosník polohovadla

Nosník polohovadla bude vlastně hlavní nosnou částí přenášející veškeré síly z pohonných kladek na základní rám zařízení.

Návrh nosníku nebyl jednoduchý z důvodu co nejnižše položit svařenec, aby byl dostupný pro další práci v co největší míře z úrovně podlahy. Dalším cílem jsem si dal stálé uložení svařence v ose rámu, aby nedocházelo k jednostrannému zatěžování a špatnému ustavování svařence. Jak jsem již dříve uvedl – mohlo by dojít k sesunutí a ohrožení bezpečnosti na pracovišti.

Konstrukci nosníku jsem navrhnul jako svařenec truhlíkového typu, jehož spodní část je vytvarována dle možnosti vsazením do základního rámu. Na obou koncích nosníku je zespod vytvořena dosedací plocha, která po vypnutí pojezdu zcela přilehne na plochu hlavního nosníku rámu, a tím vytvoří třecí spoj dostatečně zajišťující polohovadlo proti ujetí. Navíc tato plocha bezpečně přenesne všechny síly na základový rám rovnoměrně a bude zabezpečena stabilita polohovadla.

Pojezd, který bude mechanicky ovládán přes pákové ústrojí, bude mít pouze funkci přizvednutí polohovadla a jeho přesunutí v nezatíženém stavu.



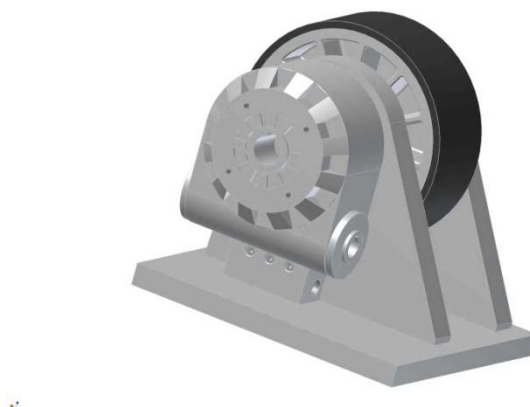
Obr. 5.2 Konstrukční návrh polohovadla

### 5.3. Kladky pohonu

Pro přenos kroutícího momentu na svařenec a přenos sil ze svařence na nosník polohovadla slouží kladky – které mohou být jak hnané, tak i hnací. Značí to, že není nutno aby všechny kladky předávali kroutící moment svařenci. Mým návrhem je, aby jedno z polohovadel bylo hnací na obou kladkách, a druhé bylo pouze hnané od svařence. Proto se budu pouze zabírat pouze hnacím polohovadlem, poněvadž to druhé bude na stejném principu, pouze nebude obsazeno motorem, hnacími hřídeli a převodovkami.

Kladka pohonu (viz. Obr.5.3) bude sestavena ze svařence držáku kladky, který bude s nosníkem polohovadla spojen základovou deskou uloženou v drážce. Ve spodní části bude procházet trapézový šroub, který bude přes matici spojenou šroubovým spojením s tělem kladky provádět posuvný pohyb k nastavení vzdálenosti kladek. Bude mít také ten účel, že v době zatížení svařencem zabrzdí tělo kladky zachycením působících sil. Proto bude nutno šroub počítat v plně zatíženém stavu.

Dále se sestava bude skládat z hřídele, kladky, ložisek a spojení pohybového hřídele s převodovkou kladky pomocí pohyblivého pera.



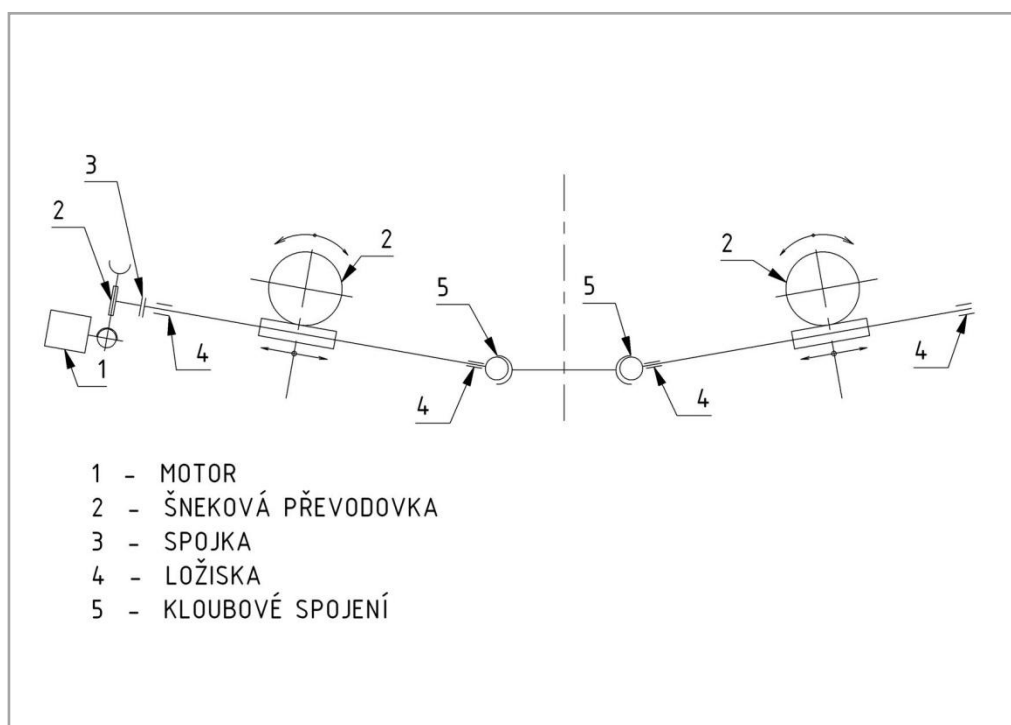
Obr. 5.3 Konstrukční návrh samostatné kladky

## 5.4. Hnací mechanismus kladky

Navrhuji přenos krouticího momentu z motoru na hnací kladky pomocí hřídele po které se přesouvá převodovka do bodu rozevření kladek. Hřídele jsou vzájemně propojeny jedním nebo dvěma klouby.

Účelem je rovnoměrně hnát obě kladky jedním motorem tak, aby byl krouticí moment a otáčky na obou kladkách stejné. Tím se krouticí moment rozloží rovnoměrněji a při překonávání drobných překážek na svařenci (např. přejezd přes příčný svár) nebude docházet k trhavým pohybům.

Nevýhodou mého návrhu je použití tří kusů převodovek na jeden mechanismus a použití hřídele, po které se bude moci převodovka přesouvat. Nabízela se možnost použití drážkového hřídele, který je však velmi náročný na výrobu, ale nejvíce vyhovující na přenos krouticího momentu. Dále jsem uvažoval o použití šestihranné tyče, ale žádná z převodovek nemá dutou vstupní hřídel se šestihranem. Navíc jsem byl na pochybách, zda by šestihran dokázal přenést krouticí moment, který pro pohon potřebuji. Nakonec jsem došel k názoru, že nejjednodušší bude vyrobit hřídel s podélnou drážkou a přenos provést přes speciálně k tomu vyrobené pero.



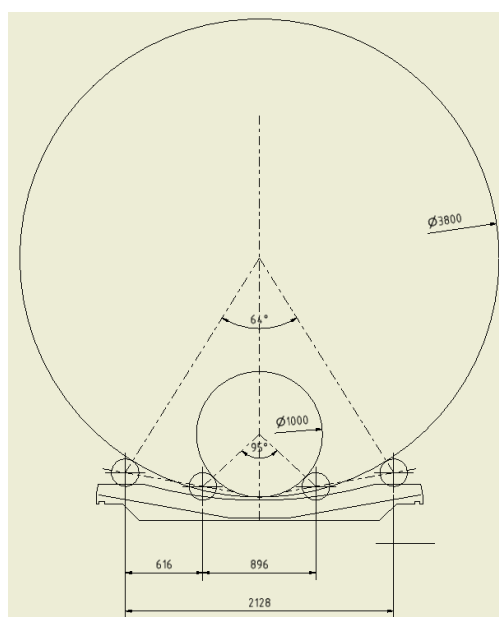
Obr. 5.4 Schéma hnacího mechanismu kladek



## 6. Výpočty

### 6.1. Analýza uložení svařence

Z důvodu velkého rozsahu průměrů svařenců potřebuji znát velikost vzájemného ustavení pohonných válečků a rozsah posunu těchto válečků. Po provedení náčrtu uložení svařence o  $\varnothing 1000$  mm a  $\varnothing 3800$  mm uložených na kladky o  $\varnothing 300$  mm v předem navrhnuté nosné části polohovadla jsem zjistil rozsah rozevření hnacích kladek, při čemž volím z důvodu bezpečnosti úhel rozevření od osy svařence větší než  $60^\circ$ .



Obr. 6.1 Rozměrový náčrt uložení svařence

Výsledkem získaným z náčrtu je minimální rozteč hnacích válečků 896 mm, která však nebude konečná, poněvadž při ještě menší rozteči by bylo možné jít i na menší průměry svařenců. Maximální rozteč 2130 mm bych však již zachoval, poněvadž větší průměr a váhu svařence již nebude moci v daném místě provádět z důvodu parametrů jeřábu provozovaném nad určeným místem uložení přípravku.

Pro určení rozteče bude u jedné z kladek umístěna pevná měrka určující nastavení průměru svařence.

## 6.2. Určení rozsahu rychlosti otáčení svařence

Pro zjištění převodového poměru, vyhledání typu převodovek, motoru a k němu příslušného měniče, výpočet průměru hřídele a určení dalších parametrů potřebuji znát rozsah otáček potřebných pro otáčení bubnu. Již jsem si zvolil průměr hnacích kladek 300 mm a je třeba určit maximální a minimální rychlost otáčení svařence.

Pro svařování je použita metoda MAG v poloze PA a PB přidavným svařovacím materiálem o  $\varnothing$  1,2 mm. Tloušťka plechů je dána skladbou zakázek a pohybuje se od tloušťky 4 mm do 12 mm. Poněvadž však chci přípravek využít v maximální možné míře, budu uvažovat s tloušťkou materiálu až k 30 mm.

Rychlosti pro svařování daných typů svarů jsem zjistil nahlédnutím do specifikací postupu svařování WPS na svařovacím pracovišti firmy Ferrmon (viz. Příloha č.1- ukázka).

Typ svaru	Obvodová rychlost v [mm*s <sup>-1</sup> ]		Výpočet pro $\phi$ kladky 300 mm	
	Rozsah	Střední rychlost	Otáčky n [ot/min]	Úhlová rychlost [rad/s]
3 koutový	6 až 11	8,5	0,541	0,057
4 koutový	5 až 7	6	0,382	0,040
5 koutový	4 až 6	5	0,318	0,033
6 koutový	3 až 5	4	0,255	0,027
3 tupý	7 až 12	9,5	0,605	0,063
4 tupý	6 až 9	7,5	0,477	0,050
5 tupý	5 až 7	6	0,382	0,040
3V	7 až 12	9,5	0,605	0,063
4V	6 až 9	7,5	0,477	0,050
5V	5 až 7	6	0,382	0,040
6V	4 až 6	5	0,318	0,033
PRO OTÁČENÍ	18	18	1,146	0,120

Tab. 6.1 Přepočet rychlosti svařování na otáčky kladky

Rychlost polohování budu počítat na obvodu hnací kladky ze vzorců:

- **Obvod kladky**

$$o = \pi * D \quad (6.1)$$

$$o = \pi * 300 = 942,47 \text{ mm}$$

- **Otáčky pro daný průměr kladky**

$$n = \frac{v}{o} * 60 \quad (6.2)$$

Výpočet proveden v Excelu v Tab. 6.1

- Úhlová rychlost

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} \quad (6.3)$$

Výpočet proveden v Excelu v Tab. 8.1

### 6.3. Hmotnostní rozbor maximálních délek válců

Dle vzorce :

$$m = \frac{\pi * D^2 - \pi * d^2}{4} * l * \rho \quad (6.4)$$

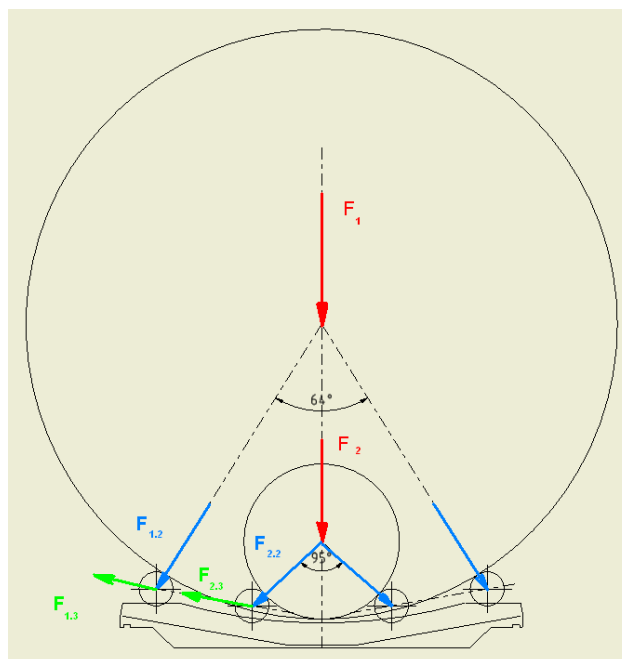
vypočítáme maximální délku válců při různých průměrech odstupňovaných po 0,5 m pro maximální váhu do 8500 kg . Výpočet proveden v Excelu v Tab. 6.2

Vnější průměr [m]	Tloušťka pláště [m]	Vnitřní průměr [m]	L - max. délka válce [m]	Max. váha [kg]
0,5	0,004	0,492	14,0	684,7
0,5	0,03	0,44	14,0	4865,7
1,0	0,03	0,94	11,8	8464,0
1,5	0,03	1,44	7,8	8478,8
2,0	0,03	1,94	5,8	8449,2
2,5	0,03	2,44	4,6	8401,9
3,0	0,03	2,94	3,8	8345,7
3,5	0,03	3,44	3,3	8467,7
3,8	0,03	3,74	3,0	8363,4

Tab. 6.2 Určení maximálních délek válců daných průměrů s váhou do 8500 kg

## 6.4. Rozbor sil působících na kladky pohonu

Pro řešení ustavování pohonných válečků do pracovní polohy pro dané průměry svařenců jsem se rozhodl pro elektrický pohon pomocí šnekové převodovky a přeměně otáčivého pohybu v posuvný šroubovým mechanismem. Pro tento účel je nutné spočítat sílu působící na pohybový šroub v zatíženém stavu, i když funkce pohybu bude používána pouze v nezatíženém stavu a bude nastavována pomocí měrky udávající průměr svařence.



Obr. 6.2 Síly působící na kladky a pohybový šroub

- Výpočet kolmé síly působící na polohovadlo

$$F_1 = m * g \quad (6.5)$$

Výpočet proveden v Excelu a dán do Tab. 8.3

- Výpočet síly normálové  $F_{1,2}$

$$F_{1,2} = \frac{F_1}{4} * \cos \frac{\alpha}{2} \quad (6.6)$$

kde  $\alpha$  ...úhel rozevření kladek od osy svařence

Výpočet proveden v Excelu a dán do Tab. 6.3

- **Výpočet síly působící v ose šroubu  $F_{1,3}$**

$$F_{1,3} = \frac{F_1}{4} * \cos \beta \quad (6.7)$$

kde  $\beta$ ...úhel mezi rovinou pojezdu kladky a silou  $F_1$

Výpočet proveden v Excelu a dán do Tab. 6.3

Hodnoty	Pro maximum	Pro minimum
Hmotnost m [kg]	8500	600
Síla F1	83385	5886
Úhel $\alpha$	64	95
Síla normálová F 1.2	17678,62	994,13
Osová síla na šroub F 1.3	3619,91	255,52

Tab. 6.3 Rozbor sil působících na kladku a osu pohybového šroubu

## 6.5. Výpočet momentu setrvačnosti

Výpočet provedu z maximální váhy a průměru svařence, kde dle Tab. 8.2 jde o průměr 3,8m a hmotnost 8363kg – což zaokrouhlím na 8500kg.

$$J = \frac{1}{2} * m * (r_2^2 + r_1^2) \quad (6.8)$$

$$J = \frac{1}{2} * 8500 * (9^2 + 1,87^2)$$

$$J = 30204325 \text{ kg} * \text{m}^2$$

## 6.6. Výpočet mechanické práce pro uvedení do pohybu

$$W = \frac{1}{2} * J * \omega^2 \quad (6.9)$$

kde úhlovou rychlost počítám největší – tj. pro otáčení svařence dle Tab. 6.1.

$$W = \frac{1}{2} * 30205 * 0,12^2$$

$$W = 217,476 \text{ J}$$

### 6.7. Výpočet výkonu potřebného na výstupu

$$P = \frac{W}{t} \quad (6.10)$$

kde  $t$  = doba potřebná k roztočení

Dobu  $t$  volím 3s.

$$P = \frac{217,47}{3} = 72,49W$$

### 6.8. Výpočet kroutícího momentu na výstupu

$$M_k = \frac{P}{\omega} \quad (6.11)$$

$$M_k = \frac{72,49}{0,12} = 604,1Nm$$

### 6.9. Výpočet kroutícího momentu na jednu kladku

$$M_{kkl..} = \frac{M_k}{2} \quad (6.12)$$

$$M_{kkl..} = \frac{604,1}{2} = 302,05Nm$$

### 6.10. Motor a převody

- **Stanovení přibližného vstupního výkonu motoru**

Zde si musíme určit přibližnou účinnost převodovky  $\eta$

Volím  $\eta = 85 \%$  (5)

$$P_1 = \frac{M_k * n_2}{9550 * \eta} \quad (6.13)$$

$$P_1 = \frac{604,1 * 1,146}{9550 * 0,85} = 0,0853kW$$

- **Předběžná volba typu motoru**

Dle výpočtu  $P_1$  volím z katalogu firmy Elprim motor typ 1LA7073-6AA12 o výkonu  $P_1=0,25kW$  a otáčkách  $n_1 = 900 \text{ min}^{-1}$ .

- **Výpočet převodového poměru**

Celkový převodový poměr vypočítám ze známých otáček na vstupu a na výstupu ze vzorce:

$$i = \frac{n_{motoru}}{n_{výstupní}} \quad (6.14)$$

$$i = \frac{900}{1,146} = 785,35$$

Vzhledem k návrhu použití více převodovek (viz Obr. 5.4) rozdělíme převodový poměr na dvě části.

První částí bude převod z motoru na pohybovou hřídel, a druhou částí převod z pohybového hřídele na samotnou kladku.

### 6.10.1. Převod kladka – pohybový hřídel

$$n_3 = 1,146 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_{k.kl.} = 302,05 \text{ Nm}$$

$$i = 25 \text{ zvoleno dle typu převodovky}$$

- **Vstupní výkon na hnacím hřídeli**

$$P_h = \frac{M_{kkl.} \cdot n_3}{9550 \cdot \eta} \quad (6.15)$$

$$P_h = \frac{302,05 \cdot 1,146}{9550 \cdot 0,85} = 0,043 \text{ kW}$$

- **Otáčky na hnacím hřídeli**

$$n_2 = n_3 \cdot i \quad (6.16)$$

$$n_2 = 1,146 \cdot 25 = 28,65 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

- **Úhlová rychlost na hnacím hřídeli**

$$\omega_h = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (6.17)$$

$$\omega_h = \frac{\pi \cdot 28,65}{30} = 3,01 \text{ s}^{-1}$$

- **Výpočet kroutícího momentu na hřídeli**

$$M_{khř.} = 2 * \frac{P_h}{\omega_h} \quad (6.18)$$

...násobeno 2\* protože jsou na hřídel napojeny 2 kladky

$$M_{khř.} = 2 * \frac{43}{3,01} = 28,57 Nm$$

**Volím převodovku typ MRT 100A 25 FFR B5/4 dle katalogu firmy ELPRIM [5].**

### 6.10.2. Převod pohybový hřídel – motor

$$n_2 = 28,65 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_{k \text{ hř.}} = 28,57 \text{ Nm}$$

- **Výpočet převodového poměru**

$$i_2 = \frac{n_1}{n_2} \quad (6.19)$$

$$i_2 = \frac{900}{28,65} = 31,41$$

Volím nejbližší převodový poměr dle typu převodovky  $i = 30$

**Zvolena převodovka typ MRT 40A 30 FFR B5/4 dle katalogu firmy ELPRIM [5].**

- **Otáčky motoru**

$$n_1 = n_2 * i_2 \quad (6.20)$$

$$n_1 = 28,65 * 30 = 859,5 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$$

- **Skutečný výkon motoru**

$$P_M = \frac{M_{khř.} * n_2}{9550 * \eta} \quad (6.21)$$

$$P_M = \frac{28,4 * 28,65}{9550 * 0,7} = 0,122 kW$$

**Vzhledem k tomu, že celý převod je ještě ovlivněn výkonovými ztrátami v kloubech a ložiscích je zvolený motor o výkonu 0,25 kW navržen správně.**



## 6.11. Pera a hřídele

### 6.11.1. Výpočet hnacích hřídelů

Hnací hřídel bude na koncích uložen v kuličkových ložiskách a bude protažen dutou hřídelí přes převodovku pevně spojenou s kladkou, která ji nebude zatěžovat na ohyb.

$$P_{hř.} = 0,044 \text{ kW}$$

$$n_2 = 28,65 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$l = 1200 \text{ mm}$$

$$k = 2$$

$$\tau_{Dk} = 25 \text{ MPa}$$

$$\alpha_B = 1 \quad \dots \text{Bachův opravný součinitel pro střídavý pohyb [6].}$$

- **Výpočet malého průměru hřídele**

$$\frac{M_{khř.}}{0,2 * d^3} = \tau_{Dk} \Rightarrow d' = \sqrt[3]{\frac{M_{khř.}}{0,2 * \tau_{Dk}}} \quad (6.22)$$

$$d' = \sqrt[3]{\frac{28570}{0,2 * 25}} = 17,877 \text{ mm}$$

Dle (7) volím pero 6e7 x 6 kde t = 3,5 mm.

- **Výpočet průměru hřídele**

$$d = d' + t \quad (6.23)$$

$$d = d' + t = 17,843 + 3,5 = 21,85 \text{ mm}$$

- **Kontrolní výpočet**

$$M_{ored} = \sqrt{0,75 * \alpha_B * M_k^2} \quad (6.24)$$

$$M_{ored} = \sqrt{0,75 * 1 * 28570^2} = 24742,35 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{ored}}{W_o} \quad (6.25)$$

$$\sigma_o = \frac{24742,35}{0,1 * 19^3} = 36,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Do} = \frac{R_e}{k} \quad (6.26)$$

kde k=3 pro střídavé zatížení.

Volím ocel 11 600.

$$\sigma_{Do} = \frac{295}{3} = 98,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o < \sigma_{Do}$$

**Hřídel vyhovuje.**

### 6.11.2. Výpočet pera hřídel – převodovka

Předpokládaný materiál duté hřídele je ocel 12 020.9, kde  $\sigma_{Pt} = 600 \text{ MPa}$  [5],  $Pero 8e7 \times 7$   
 $M_{khř.} = 28,57 \text{ Nm}$

$$k = 3$$

$$p = \frac{F}{S_2} \leq p_D \quad (6.27)$$

$$F = \frac{2 * M_k}{d}$$

$$S_2 = t_1 * l$$

$$p_D = \sigma_{Dd} = \frac{0,6 * \sigma_{Pt}}{k} * c_{II}$$

$$p_D = \frac{0,6 * 600}{3} * 0,75 = 90 \text{ MPa}$$

$$\frac{F}{t_1 * l} = p_D \Rightarrow l = \frac{2 * M_{khř.}}{d * t_1 * p_D}$$

$$l = \frac{2 * 28570}{19 * 2,5 * 90} = 13,36 \text{ mm}$$

***Tato délka pro mě není směrodatná, poněvadž musím vytvořit pero o délce šnekového hřídele a prodloužit o nosy zabraňující jeho vyklouznutí z drážky při pohybu v ose hřídele. Další výpočty není třeba provádět, poněvadž bude pero na smyk a otláčení vyhovovat z důvodu své délky cca 240 mm.***

### 6.11.3. Výpočet hřídele kladky

$$P_{kl.} = \frac{1}{2} P = 36,5 \text{ W}$$

$$n_3 = 1,146 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$l = 300 \text{ mm}$$

$$k = 3$$

$$\tau_{Dk} = 45 \text{ MPa}$$

$$\alpha_B = 1 \quad \dots \text{Bachův opravný součinitel pro střídavý pohyb [6].}$$

$$M_{kkl.} = 302,05 \text{ Nm}$$

$$F_{1,2} = 17679 \text{ N}$$

$$a = 85 \text{ mm}, b = 80 \text{ mm}, c = 100 \text{ mm}$$

$$d_1 = 50 \text{ mm}, d_2 = 50 \text{ mm}, d_3 = 55 \text{ mm}$$

$$D = 300 \text{ mm}$$

$$\frac{M_{kkl.}}{0,2 * d'^3} = \tau_{Dk} \Rightarrow d' = \sqrt[3]{\frac{M_{kkl.}}{0,2 * \tau_{Dk}}} \quad (6.28)$$

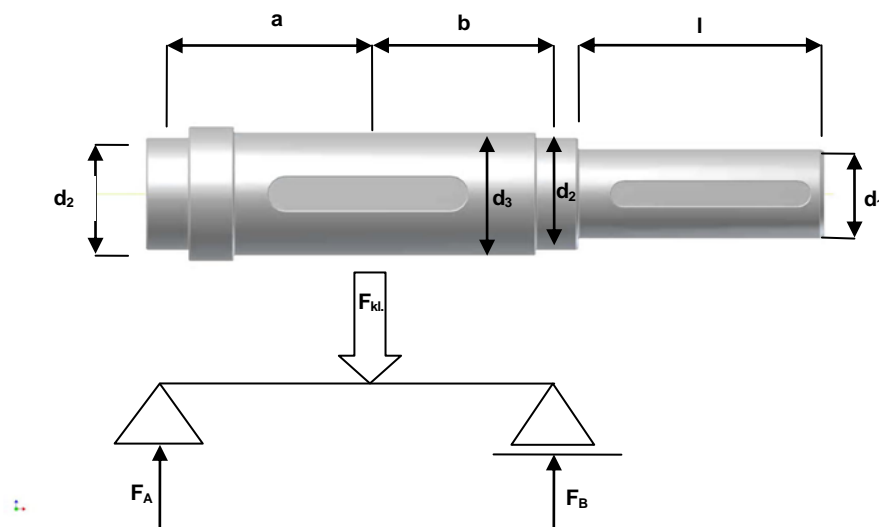
$$d' = \sqrt[3]{\frac{302050}{0,2 * 45}} = 32,25 \text{ mm}$$

Dle (7) volím pero 10e7 x 8 kde  $t = 4,7 \text{ mm}$

$$d = d' + t = 32,25 + 4,7 = 36,95 \text{ mm}$$

Volím nejmenší průměr hřídele 40 mm.

Pro uchycení budou použita kuličková ložiska s vnitřním  $d = 50$ , kde dle [7] vybírám ložisko 6210 ČSN 02 4630.



Obr. 6.3 Návrh hřídele kladky

$$F = \frac{2 * M_{kkl.}}{D} \quad (6.29)$$

$$F = \frac{2 * 302050}{300} = 2013,67 N$$

$$F_A * a + b - F * b = 0 \Rightarrow F_A = \frac{F * b}{a + b} \quad (6.30)$$

$$F_A = \frac{2013,67 * 80}{77,5 + 80} = 1022,82 N$$

$$F_B = F - F_A \quad (6.31)$$

$$F_B = 2013,67 - 1022,82 = 990,85 N$$

$$M_o = M_{o \max.} = F_B * b \quad (6.31)$$

$$M_{o \max.} = 990,85 * 80 = 79268 Nmm$$

$$M_{ored} = \sqrt{M_{o \max.}^2 + 0,75 * \alpha_B * M_{kkl.}^2} \quad (6.32)$$

$$M_{ored} = \sqrt{79268^2 + 0,75 * 1 * 302050^2} = 273329,6 Nmm$$

$$\sigma_o = \frac{M_{ored}}{W_o} = \frac{M_{ored}}{0,1 * d_3^3} \quad (6.33)$$

$$\sigma_o = \frac{273329,6}{0,1 * 55^3} = 16,43 MPa$$

Pro ocel 11 600 je  $\sigma_{Do} = \frac{R_e}{k}$   $\sigma_{Do}$  , a k = 3 pro střídavé zatížení.

$$\sigma_{Do} = \frac{295}{3} = 98,33 MPa$$

$$\sigma_o < \sigma_{Do}$$

**Navržená hřídel vyhovuje.**

**6.11.4. Výpočet pera kladky**

Předpokládaný materiál kladky 12 010.0 kde  $\sigma_{Pt} = 450 \text{ MPa}$  , Pero 16e7 x 10

$$t_1 = 3,8 \text{ mm}$$

$$M_{kkl.} = 302,05 \text{ Nm}$$

$$k = 3$$

- **Vypočítám minimální délku pera**

$$p = \frac{F}{S_2} \leq p_D \quad (6.34)$$

$$F = \frac{2 * M_k}{d}$$

$$S_2 = t_1 * l$$

$$p_D = \sigma_{Dd} = \frac{0,6 * \sigma_{Pt}}{k} * c_{II}$$

$$p_D = \frac{0,6 * 450}{3} * 0,75 = 67,5 \text{ MPa}$$

$$\frac{F}{t_1 * l} = p_D \Rightarrow l = \frac{2 * M_{kkl.}}{d * t_1 * p_D}$$

$$l = \frac{2 * 302050}{55 * 3,8 * 67,5} = 42,83 \text{ mm}$$

**Dle výpočtu volím pero 16e7 x 10 x 90.**

- **Provedeme kontrolu pera na smyk**

$$\tau_s = \frac{F}{S_1} \leq \tau_{Ds} \quad (6.35)$$

$$\tau_s = \frac{2 * M_{kkl.}}{d * b * l}$$

$$\tau_s = \frac{2 * 302050}{55 * 16 * 90} = 7,62 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 * \sigma_{Dt}$$

$$\tau_{Ds} = 0,6 * 67,5 = 40,5 \text{ MPa}$$

**Podmínka  $\tau_s \leq \tau_{Ds}$  na smyk u pera vyhovuje.**

## 6.12. Výpočet pohybového šroubu

- Určíme maximální sílu působící v ose šroubu

$$F_T = F_N * \mu \quad (6.36)$$

$\mu$  = součinitel smykového tření, pro suché tření ocel – ocel = 0,1[8]

$$F_T = 17678 * 0,1 = 1767,8N$$

$$F_o = F_{1,3} + F_{T1,3}$$

$$F_o = 3620 + 1767,8 = 5387,8N$$

- Návrh malého průměru šroubu  $d_3$

Při návrhu vycházím z pevnostní podmínky pro prosté tlakové namáhání se zohledněním vlivu krutového namáhání.

$$\beta * \sigma_d \leq \sigma_D \Rightarrow \beta * \frac{F_o}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} \leq \frac{R_e}{k_s} \Rightarrow d_3 \leq 2 * \sqrt{\frac{\beta * k_s * F_o}{\pi * R_e}}$$

kde  $\beta$  je součinitel zohledňující zatím neznámý krut –  $\beta = 1,3$  – zvoleno [8]

$\sigma_d$  je namáhání v tlaku

$$\sigma_d = \frac{F}{S} = \frac{F_o}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} \quad (6.37)$$

$\sigma_D$  je dovolené namáhání v tlaku

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k_s} \quad (6.38)$$

$R_e$  je mez kluzu – kde volím materiál 11 500 ,  $R_e = 245$  MPa

$k_s$  je součinitel statické bezpečnosti , volím  $k_s = 3$  [8]

$$\sigma_D = \frac{245}{3} = 81,67MPa$$

$$d_3 \geq 2 * \sqrt{\frac{\beta * k_s * F_o}{\pi * R_e}} \quad (6.39)$$

$$d_3 \geq 2 * \sqrt{\frac{1,3 * 3 * 5387,8}{\pi * 245}} = 10,45mm$$

Dle vypočítaného průměru  $d_3$  volím větší šroub [2] z důvodu jeho délky a úpravy konců hřídele šroubu ke spojení s převodovkou, a to šroub lichoběžníkový rovnoramenný Tr 24 x 3 kde  $d_3=20,5mm$ ,  $d_2= 22,5mm$  , rozteč  $P= 3$ , úhel profilu závitu je  $\beta= 30^\circ$  a  $D_1$  matice = 21mm.

### 6.12.1. Pevnostní kontrola šroubu

- Výpočet napětí v tlaku

$$\sigma_d = \frac{F}{S} \Rightarrow \frac{F_o}{\frac{\pi * d_3^2}{4}} \quad (6.40)$$

$$\sigma_d = \frac{5387,8}{\frac{\pi * 20,5^2}{4}} = 16,33 MPa$$

- Výpočet úhlu stoupání

$$\gamma = \arctg \frac{P}{\pi * d_2} \quad (6.41)$$

$$\gamma = \arctg \frac{2}{\pi * 22,5} = 1,63^\circ$$

- Výpočet třecího úhlu

$$\varphi = \arctg \frac{f_z}{\cos \frac{\beta}{2}} \quad (6.42)$$

kde  $f_z$  je součinitel smykového tření, volím  $f_z = 0,12$  [8]

$$\varphi = \arctg \frac{0,12}{\cos \frac{30}{2}} = 7,08^\circ$$

- Kontrola samosvornosti

Šroub musí vyhovovat podmínce

$$\varphi \geq \gamma \quad (6.43)$$

$$7,08^\circ \geq 1,63^\circ$$

**Podmínka vyhovuje – šroub je samosvorný.**

- Výpočet napětí v krutu

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_o * \tg(\gamma + \varphi) * \frac{d_2}{2}}{\frac{\pi * d_3^3}{16}} \quad (6.44)$$

$$\tau = \frac{5387,8 * \tg(1,63 + 7,08) * \frac{22,5}{2}}{\frac{\pi * 20,5^3}{16}} = 5,49 MPa$$

- **Výpočet redukovaného napětí**

Podle Guestovy pevnostní hypotézy je pevnostní podmínka pro složené namáhání tlakem

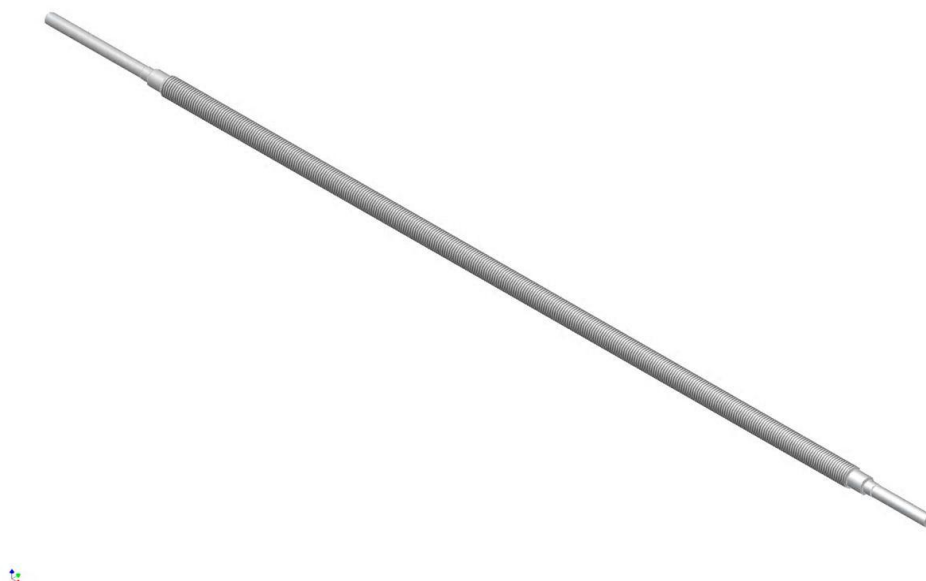
a krutem  $\sigma_{red} \leq \sigma_D$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_d^2 + 4 * \tau^2} \quad (6.45)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{16,33^2 + 4 * 5,49^2} = 19,68 MPa$$

$$19,68 \leq 81,67$$

**Podmínka je splněna, navržený šroub vyhovuje.**



Obr. 6.4 Trapézový šroub pravý



## 7. Závěr

Úkolem mé bakalářské práce bylo navrhnout mechanismus pro svařování velkých průměrů tubusů.

Návrh je řešen postupně po daných dílcích tak, aby z něj vzniklo zařízení schopné pracovat v určeném provozu dle zadaných parametrů. Jeho konstrukce vyplynula ze samotných zkušeností jak mých, tak i pracovníků dílny, kde se sila těchto průměrů vyrábí.

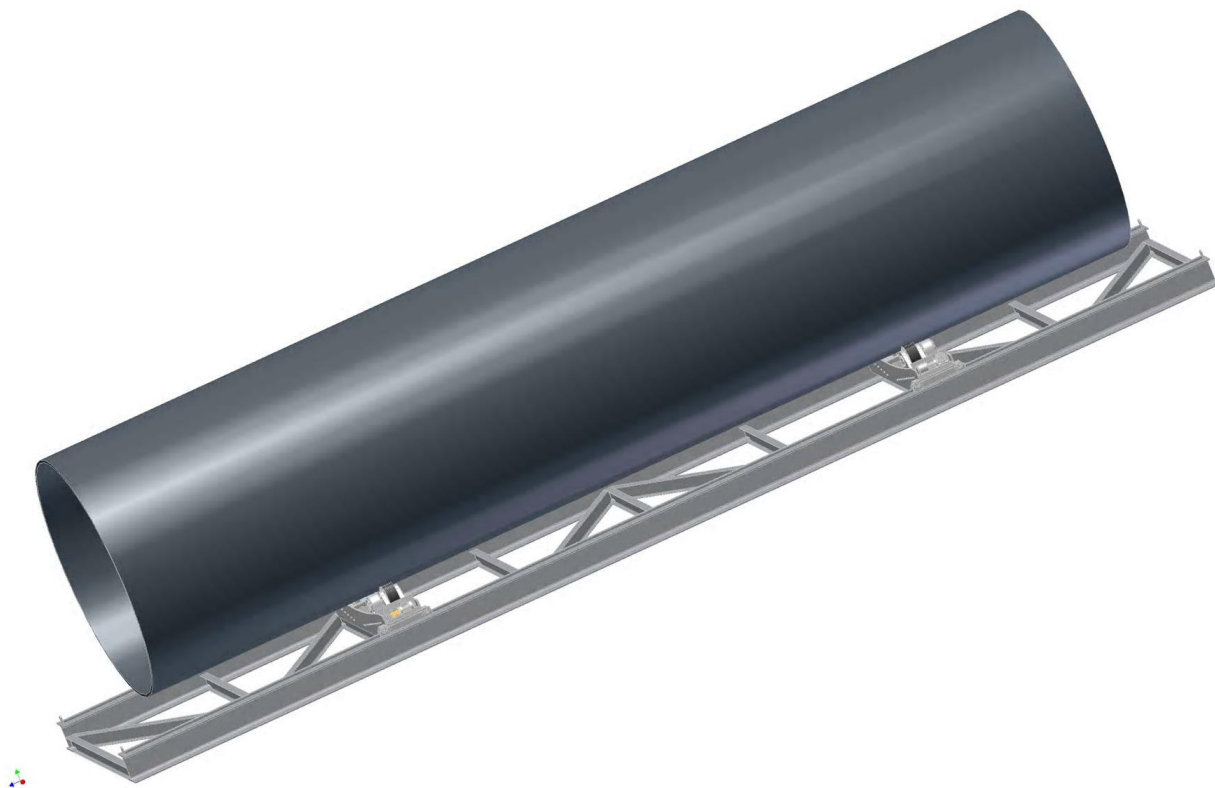
Ve výpočtové části jsem se zabýval nejdůležitějšími prvky, které by svou funkcí mohli ohrozit bezpečnost obsluhy a případně funkčnost zařízení.

Navržené zařízení splňuje dané kritéria a je navrženo tak, aby splňovalo veškeré vypočtené parametry.

Tento mechanismus je pouze začátkem vylepšení podmínek na pracovišti a zlepšení kvality vlastních výrobků. Dalším pokračováním bude poté řešení mechanismu pro podélné svařování těchto tubusů a vlastní držení svařovacích hořáků a jejich řízení při svařování.

Zvláštní kapitolou celého zařízení je elektronická část, kde bych uvítal spolupráci se studentem fakulty elektrotechniky.

Doufám, že po celkovém dokončení návrhu nalezne zařízení své uplatnění v praxi, kde bude plnit svou funkci tak, jak je požadováno.



Obr. 7.1 Ukázka uložení tubusu v navrženém polohovadle

## Citovaná literatura

- [1.] **DOPPELMAYER.** DOPPELMAYR lanové dráhy, spol. s r. o. - Fotoalbum - Lanové dráhy. <http://www.doppelmayer.cz/fotoalbum/lanove-drahy>. [Online] DOPPELMAYR lanové dráhy, spol. s r. o., 2008. <http://www.doppelmayer.cz/fotoalbum/lanove-drahy>.
- [2.] **STETTER.** SCHWING Stetter Ostrava. <http://www.schwing.cz/cs/produkty/betonarny/>. [Online] SCHWING Stetter Ostrava s.r.o. - betonárny, 2009. <http://www.schwing.cz/cs/produkty/betonarny/>.
- [3.] **HADYNA-International.s.r.o.** Polohovadla WESTAX. [http://www.hadyna.cz/smartwelding/westax\\_pos/uvod.htm](http://www.hadyna.cz/smartwelding/westax_pos/uvod.htm). [Online] HADYNA International s.r.o., 2008. [http://www.hadyna.cz/smartwelding/westax\\_pos/uvod.htm](http://www.hadyna.cz/smartwelding/westax_pos/uvod.htm).
- [4.] **ESAB.** <http://www.svarovani.cz/ostatni-svarecky/pdf/07-01.pdf>. *Použité symboly pro polohy svařování*. [Online] [Citace: 08 2009.]
- [5.] **Elprim-tech.s.r.o.** Převodovky a motory. <http://www.elprim.cz/>. [Online] Elprim-tech s.r.o., 2009. <http://www.elprim.cz/main.htm>.
- [6.] **Dejl, Zdeněk.** *Konstrukce strojů a zařízení I., spojovací části strojů*. místo neznámé : MONTANEX a.s., 2000. ISBN 80-7225-018-3.
- [7.] **Ing. Leinveber, Jan a Ing. Vávra, Pavel.** *Strojnické tabulky*. Úvaly : ALBRA - pedagogické nakladatelství, 2006.
- [8.] **Kaláb, Květoslav.** *Konstrukční návrh a výpočet šroubového zvedáku, vysokoškolská příručka*. Ostrava : VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2003.
- [9.] **Kaláb, Květoslav.** *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací*. Ostrava : VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [10.] **S.R.O., TECHNIK.** Hřídelové klouby s jehličkovým uložením HIT.E.A. <http://www.teatechnik.cz/katalog/klouby-oka/hridelove/jehlickovym-ulozenim-h/>. [Online] T.E.A.TECHNIK s.r.o. <http://www.teatechnik.cz/>.
- [11.] **Zelený, Jiří.** *Stavba strojů, strojní součásti*. Brno : Computer Press, 2007. ISBN 80-7226-311-0.
- [12.] **HUBKA, Vladimír.** *KONSTRUKČNÍ NAUKA, Obecný model postupu při konstruování*. Zurich : Heurista, 1995. ISBN 80-901135-0-8.

## Seznam obrázků

<i>Obr. 3.2 Rozdělení pracoviště na část sestavování ( vlevo ) , a část svařování ( vpravo )</i> .....	15
<i>Obr. 3.1 Ukázka nynějšího pracoviště</i> .....	15
<i>Obr. 4.1 Transformační proces – černá skříňka</i> .....	19
<i>Obr. 4.2 – Schéma hlavního toku technického procesu [12]</i> .....	20
<i>Obr. 4.3 Blokové schéma funkční struktury [12]</i> .....	21
<i>Obr. 4.4 Hierarchický funkční strom</i> .....	22
<i>Obr. 4.5 Stanovení hrubé stavební struktury [12]</i> .....	23
<i>Obr. 5.1 Návrh hlavního nosného rámu</i> .....	29
<i>Obr. 5.2 Konstrukční návrh polohovadla</i> .....	30
<i>Obr. 5.3 Konstrukční návrh samostatné kladky</i> .....	31
<i>Obr. 5.4 Schéma hnacího mechanismu kladek</i> .....	32
<i>Obr. 6.1 Rozměrový náčrt uložení svařence</i> .....	33
<i>Obr. 6.2 Síly působící na kladky a pohybový šroub</i> .....	36
<i>Obr. 6.3 Návrh hřídele kladky</i> .....	43
<i>Obr. 6.4 Trapézový šroub pravý</i> .....	48
<i>Obr. 7.1 Ukázka uložení tubusu v navrženém polohovadle</i> .....	49

## Seznam tabulek

<i>Tab. 3.1 Značení poloh při svařování .....</i>	<i>14</i>
<i>Tab. 4.1 Morfologická matice .....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 4.2 Vyhodnocení přenosu otáčivého pohybu .....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 4.3 Vyhodnocení procesu spouštění posuvů při svařování .....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 4.4 Vyhodnocení procesu jištění polohy polohovadel .....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 4.5 Vyhodnocení procesu řízení rychlosti pohybu .....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 6.1 Přepočet rychlosti svařování na otáčky kladky .....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6.2 Určení maximálních délek válců daných průměrů s váhou do 8500 kg .....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 6.3 Rozbor sil působících na kladku a osu pohybového šroubu .....</i>	<i>37</i>

## Přílohy

*Příloha 1 – Ukázka specifikace WPS firmy Ferrmon s.r.o.*

*Příloha 2 – Elprim, technické data použitých elektromotorů [\[5\]](#)*

*Příloha 3 – Elprim, technická data převodovky použitých převodovek MRT 100 A -25 [\[5\]](#)*

*Příloha 4 – Elprim, technická data převodovky MRT 40 A FFR a MRT 30 A FFR [\[5\]](#)*

*Příloha 5 – T.E.A., technická data použitých hřídelových kloubů [\[9\]](#)*

*Příloha 6 – Sestavní výkres základního rámu CER 569-01*

*Příloha 7 – Sestavní výkres kladky polohovadla CER 569-02*

*Příloha 8 – Sestavní výkres nosníku polohovadla CER 569-03*

*Příloha 9 – Sestavní výkres polohovadla CER 569-04*

*Příloha 10 – Celková sestava polohovadla CER 569-05*